

Розвиток методологічних засад інтелектуалізації процесів генерації та розподілу електроенергії в інтегрованих системах з активним споживачем

Развитие методологических основ интеллектуализации процессов генерации и распределения электроэнергии в интегрированных системах с активным потребителем

Development of methodological principles of intellectualization of processes of generation and distribution of electricity in integrated systems with active consumer

1. **Номер державної реєстрації теми - 0113U002489, НТУУ «КПІ» - 2668-п.**
2. **Науковий керівник** - д.т.н., проф. Денисюк С.П., Денисюк С.П., Denysiuk Sergii P.
3. **Суть розробки, основні результати.**
(укр.)

Розроблено науково-технічні та методологічні засади інтелектуалізації процесів генерації та розподілу електроенергії (складові концепції *SmartGrid*) в інтегрованих системах енергозабезпечення з активним споживачем. Сформовано наукові аспекти концепції інтелектуальної електроенергетичної системи. Досліджено процеси споживання та генерації електричної енергії в інтегрованих електропостачальних системах, оцінено вплив диференційованих за часом тарифів на формування графіка споживання електричної енергії. Здійснено оцінювання потенціалу керування попитом на електричну потужність/ енергію через систему тарифів на електричну енергію. Розроблено рекомендації щодо оцінювання відповідності тарифних зон доби актуальним проблемам керування попитом на електричну потужність. Розроблено рекомендації щодо побудови систем з гнучкою генерацією та активним споживачем. Запропоновано методику багатокритеріального вибору місць розміщення та параметрів джерел розосередженої генерації, технічні умови підключення їх до систем електропостачання. Створено моделі та алгоритми оцінювання стійкості та надійності інтегрованих систем електропостачання. Розроблено методичне, інформаційне та алгоритмічне забезпечення розв'язання задач залучення оперативних даних при моделюванні процесів в інтегрованих розподільних мережах. Розроблено математичні моделі оцінки ефективності впливу активного споживача на електричну потужність. Проведено аналіз електромагнітної сумісності та особливостей інтеграції різномірних джерел енергії та елементів інтелектуальної енергетики. Розглянуто задачі використання пристроїв силової електроніки для підключення джерел розосередженої генерації та управління режимами. Запропоновано науково-технічні рішення щодо впровадження нових функцій автоматизованих систем контролю та керування електроспоживанням. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення нормативно-правової бази галузі, відповідні методики, проекти нормативних документів, необхідних для ефективного впровадження концепції інтелектуалізації процесів генерації та розподілу електроенергії та створення інтегрованих систем енергозабезпечення з активним споживачем. Впровадження розробок сприяє ресурсозбереженню, зменшенню збитків споживачів за рахунок підвищення надійності електропостачання та якості електричної енергії, покращенню стану довкілля.

(рос.)

Разработаны научно-технические и методологические основы интеллектуализации процессов генерации и распределения электроэнергии (составляющие концепции *SmartGrid*) в интегрированных системах энергообеспечения с активным потребителем. Сформированы научные аспекты концепции интеллектуальной электроэнергетической системы. Исследованы процессы потребления и генерации электрической энергии в интегрированных системах электроснабжения, оценено влияние дифференцированных во времени тарифов на формирование графика потребления электрической энергии. Выполнено оценивание потенциала управления спросом на электрическую мощность/энергию с помощью системы тарифов на электрическую энергию. Разработаны рекомендации относительно оценивания соответствия тарифных зон суток актуальным проблемам управления спросом на

электрическую мощность. Разработаны рекомендации относительно построения систем с гибкой генерацией и активным потребителем. Предложено методику многокритериального выбора мест размещения та параметров источников распределенной генерации, технические условия их подключения к системам электроснабжения. Созданы модели и алгоритмы оценки устойчивости и надежности интегрированных систем электроснабжения. Разработано методическое, информационное и алгоритмическое обеспечение решения задач использования оперативных данных при моделировании процессов в интегрированных распределительных сетях. Разработаны математические модели оценки эффективности влияния активного потребителя на электрическую мощность. Проведен анализ электромагнитной совместимости и особенностей интеграции разнородных источников энергии и элементов интеллектуальной энергетики. Рассмотрены задачи использования устройств силовой электроники для подключения источников распределенной генерации и управления режимами. Предложены научно-технические решения относительно внедрения новых функций автоматизированных систем контроля и управления электропотреблением. Разработаны рекомендации по усовершенствованию нормативно-правовой базы отрасли, соответствующие методики, проекты нормативных документов, необходимых для эффективного внедрения концепции интеллектуализации процессов генерации и распределения электроэнергии и создания интегрированных систем энергообеспечения с активным потребителем. Внедрение разработок способствует ресурсосбережению, снижению расходов потребителей за счет повышения надежности электроснабжения и качества электрической энергии, улучшению состояния окружающей среды.

(англ.)

The scientific, technical and methodological bases for intellectualization of processes of generation and distribution of electricity (components of the Smart Grid concept) in integrated energy systems with prosumers are determined. The scientific aspects of the concept of smart electricity system are formed. The processes of generation and consumption of electrical energy in the integrated systems for electricity supply were studied, assessment of the impact of tariffs differentiated by time zones for the formation of power consumption schedule was held. The evaluation of potential of demand for electric power / energy control via electricity tariffs was studied. Recommendations for conformity assessment of tariff zones according to urgent problems of day to control demand for electric power were developed. Recommendations for building systems with flexible generation and prosumers are proposed. The technique of multi selection and placement of distributed generation sources, their parameters selection, specifications to connect them to power supply systems are presented. A models and algorithms of assessment of the stability and reliability of the integrated power supply systems are developed. Methodical, information and problem solving algorithmic support for the involvement of the available data in modeling processes in integrated distribution networks are presented. Mathematical models of evaluation of the effectiveness of the prosumers influence on electric power are presented. The analysis of electromagnetic compatibility and integration peculiarities of different energy sources and elements of smart energy systems was held. The tasks of using power electronics devices to connect sources of distributed generation and management of the regimes are discussed. The scientific and technical solutions for implementing new features of automated control and management systems for power consumption are proposed. Recommendations for improving the legislative base for the industry, relevant techniques draft regulations necessary for the effective implementation of the concept of intellectualization processes of generation and distribution of electricity and creating integrated systems with prosumers are developed. Implementation of proposed material promotes resource conservation, reduction of losses by increasing consumer power supply reliability and quality of electrical energy, improves the environment.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. А.с. № 49398 Україна. Денисюк С.П. Організаційні механізми створення системи енергоменеджменту на підприємствах / організаціях згідно стандарту ISO 50001 / С.П. Денисюк (Україна). – Заявл. 28.03.2013; опубл. 30.05.2013.
2. А.с. № 50989 Україна. Ранжування показників енергоефективності для оцінки технічного потенціалу енергозбереження / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, Ю.М. Чернуха (Україна). – Заявл. 26.06.2013; опубл. 28.08.2013.
3. А.с. № 49397 Україна. Концепція формування інтелектуального міста (енергетична складова) / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, Д.Г. Дерев'янка (Україна). Заявл. 28.03.2013 Опубл. 30.05.2013.
4. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Концепція побудови інтегрованих систем контролю ефективності використання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах» / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко. – № 49783 ; заявл. 16.04.2013 ; зареєстр. 21.06.2013.
5. А.с. № 49396 Україна. Особливості побудови методології концентрації енергетичних ресурсів низькопотенціальних джерел та комплексного використання нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії / А. В. Праховник, Т.М. Базюк (Україна). Заявл. 28.03.2013 Опубл. 30.05.2013.
6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Врахування фактору невизначеності при моделюванні вихідної потужності вітрових електростанцій» / А.Ф. Жаркін, В.А. Попов, О.С. Ярмолук. – № 52960 ; заявл. 21.10.2013; зареєстр. 21.12.2013.
7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Алгоритм розрахунку вихідних характеристик мікро та міні гідроелектростанцій за умов обмеженості гідрологічних даних» / А.Ф. Жаркін, В.А. Попов, О.С. Ярмолук. – № 52961; заявл. 21.10.2013; зареєстр. 21.12.2013.
8. Свідоцтво авторського права; Назва об'єкту ІВ - Плахотний М.В., Коцар О.В., Коцар І.О. Комплексний захист даних комерційного обліку електроенергії в енергоринку України // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 55095 від 02.06.2014р. – 11с.
9. Денисюк С.П., Притискач І.В. Комп'ютерна програма «Оцінка режимів роботи трансформатора за технічними критеріями» / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 56076, дата реєстрації 15.08.2014.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати розробки відповідають світовому рівню, а виконана робота не має аналогів щодо комплексного вирішення поставлених задач. Сформульовано наукові аспекти побудови інтелектуальної електроенергетичної системи, ключові положення концепції *Smart Grid* розподільних мереж, принципи побудови адаптивних систем керування попитом на електричну потужність на основі мультиагентного керування, визначено потенціал їх впровадження, розроблено рекомендації щодо методів заохочення до активної поведінки споживача. Запропоновано методологію використання багатофункціональних інтелектуальних автоматизованих систем обліку електричної енергії як базового засобу інформаційного забезпечення завдань контролю та керування режимами електроспоживання в ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Впровадження результатів роботи призводить до підвищення рівня енергоефективності, енергетичної безпеки, стійкості, надійності та керованості електроенергетичних систем, до раціонального використання засобів генерації і енергоресурсів, формування оптимальних графіків енергоспоживання, а також до покращення екологічної обстановки. Розроблені математичні моделі, методики забезпечення оптимального використання активних споживачів, засобів малої генерації, визначення їх параметрів та місць приєднання до електричних мереж. Лише додаткові витрати на генерацію за рахунок нерівномірного споживання електроенергії оцінюються експертами

понад 2 млрд. грн. на рік. Покращення показників через введення ефективних тарифів на кожний відсоток дає можливість заощаджувати близько 20 млн. грн. на рік. Досвід інших країн свідчить про потенційну можливість покращити показники енергоефективності, внаслідок впровадження наукових розробок, на 5-10%, в першу чергу, за рахунок раціонального енерговикористання. Підтвердженням зазначеного є наявність укладених договорів передачі або впровадження розроблених технологій на загальну суму, що в 1,3 рази перевищує вартість розробки.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Потенційними користувачами результатів НДР є підрозділи та установи Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, НЕК «Укренерго» та її відокремлений підрозділ Головдерженергонагляд України, Національна комісія регулювання електроенергетики, ДП "Енергоринок", регіональні енергопостачальні компанії, структурні підрозділи, організації і підприємства паливно-енергетичного комплексу України, підприємства електричних мереж тощо. Передбачається подальше впровадження на договірних засадах елементів АСКУЕ, програмних продуктів, розроблення нормативної документації.

8. Стан готовності розробки.

Розробка готова до впровадження. Створено методологію, математичні моделі, алгоритмічне та інформаційне забезпечення для реалізації системного підходу до формування та керування інтегрованими системами енергопостачання з активним споживачем, з підвищенням їх стійкості, надійності та керованості, з урахуванням наявності різних типів нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, сучасних автоматизованих систем обліку та пристроїв регулювання. Розроблено принципи побудови адаптивних систем керування попитом на електричну потужність на основі мультиагентного керування, визначено потенціал їх впровадження, розроблено рекомендації щодо методів заохочення до активної поведінки споживача. Запропоновано методологію використання багатофункціональних інтелектуальних автоматизованих систем обліку електричної енергії як базового засобу інформаційного забезпечення задач контролю та керування режимами електроспоживання в ринку двосторонніх договорів та балансуєчого ринку. Можливе розроблення проектів нормативно-технічних документів з питань формування тарифів на електричну енергію, поширення використання можливостей АСКОЕ, тощо.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи впроваджено за укладеними договорами з ДП "Енергоринок": "Розробка документу "Вимоги до порядку збору, обробки та обміну даними комерційного обліку електроенергії в ОРЕ України"; "Розроблення нормативно-технічного документу "Експлуатація та технічне обслуговування АСКОЕ суб'єктів ринку електроенергії"; "Розроблення нормативно-технічного документу "Порядок проведення приймальних випробувань АСКОЕ суб'єктів ринку. Типова програма проведення приймальних випробувань". Результати виконаних наукових досліджень "Підвищення ефективності розподільних електричних мереж електроенергетичного комплексу України згідно положення концепції Smart Grid" передані до використання в НЕК "Укренерго".

Матеріали роботи використано для підготовки докторських та кандидатських дисертацій. Захищено докторську дисертацію «Теорія та практика оцінювання якості електричної енергії в інтегрованих системах електропостачання», Волошко А.В., 24.11.2014р., та 2 кандидатські дисертації: «Багатокритеріальний вибір структури енергопостачання регіонів з використанням альтернативних джерел енергії» Буравльова М.Т., 22.07.2014р.; "Оптимальне секціонування повітряних розподільних мереж 6-20 кВ в умовах нормування показників надійності", Ткаченко В.В., 20.09.2014р. Підготовлено до захисту: докторську дисертацію "Оптимальне керування режимами систем

електропостачання в умовах використання розосередженої генерації", Попов В.А., та 5 кандидатських дисертацій.

Розроблено 3 нових навчальних курси, нові розділи у 3 навчальних курсах та створено 2 нові цикли лабораторних робіт. Технічні рішення і методики пропонуються до впровадження для перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців у Центрі підготовки енергоменеджерів ІЕЕ НТУУ „КПІ” та регіональних центрах України.

10. Назва підрозділу, телефон, E-mail

НТУУ „КПІ”, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, кафедра електропостачання, 406-86-07, spdens@ukr.net

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы: Под общ. ред. акад. НАН Украины А.В. Кириленко / Институт электродинамики НАН Украины. - К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. - 408 с. українською мовою; № рішення НТ ради 3; дата 27.03.2014.
2. Економіко-математичне моделювання енергетичних систем [Текст] / В.К. Добровольський, В.О. Костюк, О.В. Стогній, М.І. – К.: Наукова Думка, 2013. – 250 с.
3. Разработка и внедрение системы энергоменеджмента в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 50001 на предприятиях ДТЭК ЭНЕРГО: Монографія / С.П. Денисюк, В.И. Дешко, О.А. Закладной и др.; Под общ. ред. С.П. Денисюка. – К.: Наш формат, 2014.–504 с.
4. Main features of the stability and reliability enhancement of electricity grid within Ukraine based on IEEE standards [Text] / O.V.Kyrylenko, R. Strzelecki, S.P.Denysiuk, D.G. Derevianko// Технічна електродинаміка / Наук.-прикл. журнал. – К. : Інститут електродинаміки НАН України, 2013. – № 6. – С. 46–50.
5. Жаркин А.Ф. Решение задачи оптимального секционирования воздушных распределительных сетей в условиях нормирования показателей надежности / А.Ф. Жаркин, В.А. Попов, В.В. Ткаченко//Технічна електродинаміка.-2013.- №5.-с.61-69.
6. Калинчик В.П. Планирование энергообеспечения регионов Украины на основе возобновляемых источников энергии[Текст] / В.П. Калинчик, М.Т. Кокорина// Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського / Наук. журнал. – Кременчук : КрНУ, 2013. – № 3 (80). – С. 60–65.
7. С.П.Денисюк, Т.М.Базюк, Д.Г.Дерев'янюк «Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах.» // «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського» № 3(80) / 2013. (фахова, міжнародна база даних).
8. Попов В.А. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей [Текст] / В.А. Попов, Е.С. Ярмолюк, П.А. Замковой // Східноєвропейський журнал передових технологій / Наук. журнал. – Харків, 2014. – № 2. – С. 61–68.
9. Anatoly Zamulko, Yuri Veremiychuk Methods of controlling power consumption in terms of reforming market conditions. Scientific Journal of Riga Technical University. Series: Power and Electrical Engineering. № 32. 2014. P 41-46.
10. Denysiuk S., Baziuk T. Algorithms for Optimal Mode Selection of Energy Prosumer // Proceedings “2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS-2014)”. - K: Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, 2014. - P. 171-177.
11. Denysiuk S., Prytyskach I. Development of the On-line Power Transformer State Monitoring System // International Journal of Computing and Technology. – 2014. – Vol. 1, Issue 5. – P. 191–195.

12. Автоматичне секціонування розподільних електричних мереж напругою 6-Ю кВ із застосуванням роз'єднувачів нового покоління / Р.О.Буйний, І.В.Діхтярук, В.В.Зорін //Технічна електродинаміка. - №3. - 2014. - С.70-75.
13. Веремійчук Ю.А., Замулко А.І. Дослідження графіків електричних навантажень груп споживачів електричної енергії. Вісник ВНТУ 2014. №2. С. 82-85.
14. Риск - менеджмент в управленні електропостачанням /Замулко А.І., Веремійчук Ю.А., Лайкина Е.В. // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика» №1(16)' 2014 С. 63-69
15. Analysis of implementing the ISO 50001:2011 standard in aviation segment of transport economy sector /Strelkova G.G., Agieieva G.M. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка», серія «Проблеми економіки та управління». - 2014. - №799. - С.122-128.
16. Базюк Т.М., Притискач І.В. Оптимізація режимів споживання активним споживачем електричної енергії з мережі електропостачання // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №1. – С.95-100.
17. В.В. Прокопенко, О.В. Коцар, Ю.А. Расько, Ю.С. Павлова. Полнофункциональный инструментальный для реализации перманентного энергетического аудита // Енергетика, економіка, технології, екологія. – 2014 - №2. – С. 83-89.
18. Вибір математичної моделі для встановлення «стандартів» енергоспоживання виробничих об'єктів на основі багатокритеріального підходу / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.- №1(93). - 2014. - С. 20-29.
19. Денисенко М. А., Притискач І. В. Особливості визначення навантажувальної здатності силових сухих трансформаторів з використанням стохастичних моделей вибору // Промелектро. – 2014. – №1. – С. 30–35.
20. Денисюк С.П. Технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2014.- №1(35).-С. 7-21.
21. Денисюк С.П., М.Ф. Сопель, Пилипенко Ю.В., Притискач І.В. Розробка системи онлайн моніторингу стану силових трансформаторів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво».- 2014. - №24.
22. Денисюк С.П., Притискач І.В. Загальні підходи до побудови систем моніторингу силових трансформаторів з використанням стохастичних моделей // 36. «Праці Ін-ту електродинаміки НАН України».-2014, ІЕД НАНУ.-С. 62-67.
23. Находов В.Ф. Комплексний підхід до визначення складу чинників, що впливають на величину енергоспоживання при впровадженні систем оперативного контролю енергоефективності/ В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, Д.О. Іванько, І.О. Єгорова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – №2 – 2014. – С. 68-79.
24. О.В. Коцар, Ю.О. Расько. Перехід від автоматизованих до автоматичних систем контролю, обліку та керування енерговикористанням в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України. // Енергетика та електрифікація. – 2014 - №6. – С. 38-46.
25. Підвищення рівня енергоефективності процесу синтезу аміаку на основі розробки динамічної моделі процесу / Г. Г. Стрелкова, К. В. Рабчук. // Енергетика:економіка, технології, екологія. – № 1(35). - 2014. - С.109-113.
26. Плахотний М.В., Коцар О.В., Коцар І.О. Деякі аспекти захисту даних комерційного обліку електроенергії в енергоринку України // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2014. -№3 - С.61 -66.
27. Процес контролю виконання встановлених «стандартів» в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія "Гірництво". - №24. - 2014. - С. 111-119.

28. Бориченко О.В. Інтегровані системи енергоменеджменту – інструмент підвищення енергоефективності у виробничо-господарській сфері / О.В. Бориченко, А.Ю. Таран // Енергетика: економіка, технології, екологія. – №1 – 2014. – С. 35-40.
29. Двухэтапный алгоритм выбора структуры и параметров микросистем с учетом фактора неопределенности [Текст] / В.А. Попов, Е.С. Ярмолук, П.А. Замковой, И.А. Дмитренко // Енергетика: економіка, технології, екологія / Наук. журнал. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – № 1. – С. 100–108.
30. Костюк В.О. Техніко-економічні оцінки виробництва електроенергії фотоелектричними станціями і проблема валоризації відновлюваних джерел енергії в Україні / Костюк В.О., Шульженко С.В., Охріменко І.А. // Техн. електродинаміка. – 2014. –№5. – С.59-61.